

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
1. April 2004 (01.04.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/026669 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **B62D 65/00**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/009914

(22) Internationales Anmeldedatum:
6. September 2003 (06.09.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 42 710.0 13. September 2002 (13.09.2002) DE

(71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): DAIMLERCHRYSLER AG [DE/DE]; Epplestrasse 225, 70567 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): KOLB, Thomas [DE/DE]; Hofgartenstrasse 25, 89438 Holzheim (DE). KRAUS, Helmut [DE/DE]; Zeisigweg 2, 71157 Hildrizhausen (DE). STAHS, Thomas [DE/DE]; Albecker Steige 114, 89081 Ulm (DE).

(74) Anwalt: NÄRGER, Ulrike; DaimlerChrysler AG, Intellectual Property Management, IPM-C106, 70546 Stuttgart (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (*national*): JP, US.

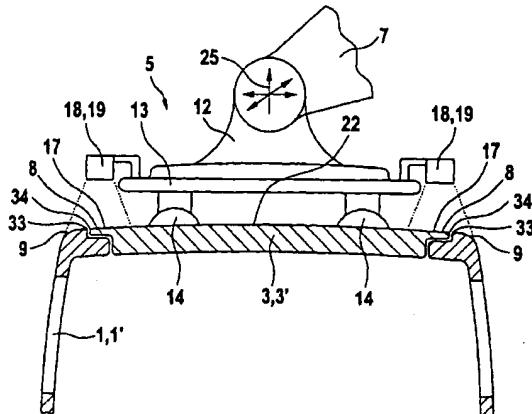
(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

Veröffentlicht:
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR PROCESSING A MOVING PRODUCTION PART, PARTICULARLY A VEHICLE BODY

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR BEARBEITUNG EINES BEWEGTEN WERKSTÜCKS, INS-
BESONDERE EINER FAHRZEUGKAROSSE



(57) Abstract: The invention relates to a method for processing a moving production part (1), particularly a vehicle body (1) being moved by a conveyor belt (10). To this end a processing tool (5) is used, which is fastened to the hand (12) of a robot (7) and which comprises a sensor system (18). This sensor system is connected in a fixed manner to the processing tool (5) and has at least one sensor (19). During processing, the processing tool (5) follows the moving production part. This following movement is based on a control process during which the processing tool (5) is periodically aligned on reference areas (9) of the moving production part (1) by using measured data of the sensor system (18). The measured data of the sensor system (18) are compared to set data that are generated within the scope of a setting-up phase (I.) of the processing tool (5). A displacement vector of the processing tool (5) is calculated based on the difference between the measured values and set data while using a Jacobian matrix that is calculated within the scope of the setting-up phase, and the processing tool (5) is displaced by this displacement vector. This process is repeated in a regulation loop.

WO 2004/026669 A2

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



Zur Erklärung der Zwei- und Dreibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bearbeitung eines bewegten Werkstücks (1), insbesondere einer mittels eines Transportbandes (10) bewegten Fahrzeugkarosserie (1). Hierzu wird ein Bearbeitungswerkzeug (5) verwendet, das an der Hand (12) eines Roboters (7) befestigt ist und ein fest mit dem Bearbeitungswerkzeug (5) verbundenes Sensorsystem (18) mit mindestens einem Sensor (19) umfasst. Während der Bearbeitung folgt das Bearbeitungswerkzeug (5) dem bewegten Werkstück. Diese Verfolgungsbewegung beruht auf einem Regelungsprozess, bei dem das Bearbeitungswerkzeug (5) mit Hilfe von Messdaten des Sensorsystems (18) periodisch an Referenzbereichen (9) des bewegten Werkstücks (1) ausgerichtet wird. Die Messdaten des Sensorsystems (18) werden mit Soll-Daten verglichen, die im Rahmen einer Einrichphase (I.) des Bearbeitungswerkzeugs (5) erzeugt werden, und aus der Differenz zwischen Messwerten und Solldaten wird unter Verwendung einer im Rahmen der Einrichphase berechneten Jacobi-Matrix ein Verschiebungsvektor des Bearbeitungswerkzeugs (5) berechnet, um den das Bearbeitungswerkzeug (5) verschoben wird. Dieser Prozess wird in einer Regelschleife wiederholt.

41 Pfls. 1

Verfahren und Vorrichtung
zur Bearbeitung eines bewegten Werkstücks,
insbesondere einer Fahrzeugkarosserie

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bearbeitung eines bewegten Werkstücks, insbesondere einer mittels eines Transportbandes bewegten Fahrzeugkarosserie, nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, wie es beispielsweise aus der DE 195 20 582 C1 als bekannt hervorgeht. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Bearbeitungssystem zur Durchführung dieses Verfahrens.

Bei der Großserienfertigung von Kraftfahrzeugen, insbesondere in der (End-)Montage, werden oftmals kontinuierlich bewegte Transportbänder verwendet, auf denen Fahrzeugkarosserien aufeinanderfolgenden Bearbeitungs- und Montagestationen zugeführt werden. In diesen Bearbeitungs- und Montagestationen werden die Karosserien typischerweise vom Transportband ausgetaktet und in getaktete Stationen verschoben, damit der eigentliche Bearbeitungs- bzw. Montageprozess an einer statioären Karosserie erfolgen kann. Dabei erfordert jeder Übergang vom kontinuierlichen Transport in eine getaktete Station Beschleunigungsstrecken und unter Umständen Puffer, was mit einem erhöhten Platzbedarf einhergeht. Weiterhin ist es sehr aufwendig, eine automatisierbare Bearbeitungs- bzw. Montagestation in eine bestehende, kontinuierlich fördernde Montagelinie zu integrieren, weil das Transportband hierzu aufgetrennt werden muss.

Daher besteht ein großes Interesse daran, automatisierte (d.h. robotergeführte) Bearbeitungs- und Montageumfänge direkt am bewegten Objekt durchzuführen. Hier tritt allerdings die Schwierigkeit auf, dass ein dabei zum Einsatz kommender Bearbeitungs- bzw. Montageroboter an die Vorschubbewegung des

Transportbandes gekoppelt sein muss, um eine Synchronisierung des robotergeführten Bearbeitungs- oder Montagewerkzeugs mit der bewegten Karosserie zu erreichen. Diese Ankopplung muss umso genauer erfolgen, je höher die Genauigkeitsanforderungen des Bearbeitungs- bzw. Montageprozesses ist.

Eine solche Synchronisation kann beispielsweise durch eine mechanische Ankopplung des Bearbeitungs- bzw. Montageroboters an das Transportband erreicht werden. Aus der US 3 283 918 ist ein Montagesystem bekannt, in dem der Roboter während der Durchführung der programmierten Arbeit mit Hilfe einer mechanischen Einrichtung bandsynchron zum Montageband nachgeführt wird. Um einen Gleichlauf zwischen dem Industrieroboter und dem Werkstück herbeizuführen, ist an jedem auf dem Förderband bewegten Werkstück selbst oder an einem Werkstückträger jeweils ein seitlich abragender Mitnahmezapfen angeordnet, an den der Industrieroboter angekoppelt wird. Nachteilig ist dabei, dass trotz des durch die mechanische Kopplung zwischen Industrieroboter und Werkstück erzwungenen beiderseitigen Gleichlaufs immer noch Relativbewegungen zwischen ihnen vorkommen, die eine exakte Arbeitsoperation verhindern. Diese Ungenauigkeiten summieren sich zu relativen Bewegungsausschlägen, welche die für einen mechanisierte Füge-, Bearbeitungs- oder Schweißvorgang erforderliche bzw. tolerierbare Lageübereinstimmung überschreiten.

Andererseits ist aus der gattungsbildenden DE 195 20 582 C1 eine Anordnung zur regelungstechnischen Synchronisierung eines Roboters mit einem Montageband bekannt. In diesem System ist am Montageroboter ein Relativlageregler mit einer Messeinrichtung vorgesehen, die innerhalb einer kurzen Ausregelstrecke die Position eines vom Werkstück mitgeschleppten Mitnehmers bestimmen kann. Dadurch soll eine hohe Relativgenauigkeit zwischen dem Montageroboter und dem bewegten Werkstück erreicht werden. Nachteilig bei dieser regelungstechnischen Synchronisation des Roboters gegenüber dem Transportband ist, dass am vorbeifahrenden Werkstück mit Hilfe einer einmaligen

Messung eine Positionsinformation gewonnen wird, die dann mit Hilfe weiterer Informationen (wie Bandgeschwindigkeit und Vorschubrichtung) bis zum Montagezeitpunkt extrapoliert wird. In der eigentlichen Kontaktsituation liegt dann nur eine indirekte Positionsinformation vor, was zu erhöhten Ungenauigkeiten führen kann und - zum Beispiel im Falle eines unerwarteten Bandstillstands - einen erhöhten Synchronisationsbedarf mit der umliegenden Steuerung mit sich zieht.

Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, das bekannte Verfahren zur roboterunterstützten Bearbeitung eines bewegten Werkstücks dahingehend weiterzuentwickeln, dass eine Relativlage eines robotergeführten Bearbeitungswerkzeugs zum bewegten Werkstück - bis hin zur Durchführung der eigentlichen Bearbeitungsaufgabe - prozesssicher eingestellt und beibehalten werden kann. Der Erfindung liegt weiterhin die Aufgabe zugrunde, eine zur Durchführung des Verfahrens geeignetes Bearbeitungssystem vorzuschlagen.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale der Ansprüche 1 und 6 gelöst.

Erfindungsgemäß ist das robotergeführte Bearbeitungswerkzeug mit einem Sensorsystem versehen, das fest mit dem Bearbeitungswerkzeug verbunden ist. Das Bearbeitungswerkzeug wird zunächst robotergesteuert in eine (fest einprogrammierte, von der aktuellen Lage des Werkstücks im Arbeitsraum des Roboters unabhängige) sogenannte „Näherungsposition“ gegenüber dem Werkstück gebracht. Ausgehend von dieser Näherungsposition wird ein Regelprozess durchlaufen, im Zuge dessen das Bearbeitungswerkzeug in eine sogenannte „Arbeitsposition“ bewegt wird, in der das Bearbeitungswerkzeug und/oder ein im Bearbeitungswerkzeug gehaltenes Anbauteil lagegenau gegenüber dem Werkstück ausgerichtet ist. Im Zuge des Regelprozesses werden vom Sensorsystem (Ist-) Messwerte ausgewählter Referenzbereiche auf dem Werkstück und/oder auf dem Anbauteil erzeugt; diese (Ist-) Messwerte werden mit (Soll-) Messwerten vergli-

chen, die in einer vorausgehenden Einrichtphase erzeugt wurden. Anschließend wird das Bearbeitungswerkzeug um einen Verschiebungsvektor (umfassend Linearverschiebungen und/oder Drehungen) verschoben, der unter Zuhilfenahme einer sogenannten „Jacobimatrix“ (oder „Sensitivitätsmatrix“) aus einer Differenz zwischen den (Ist-) und (Soll-) Messwerten berechnet wird. Sowohl die (Soll-) Messwerte als auch die Jacobimatrix werden im Rahmen einer - dem eigentlichen Positionier- und Montagevorgang vorgesetzten - Einrichtphase ermittelt, im Rahmen derer das Bearbeitungswerkzeug auf die konkrete Montageaufgabe (d.h. eine konkrete Kombination aus Bearbeitungswerkzeug, Sensorsystem, Karosserietyp und Art und Einbauposition des einzusetzenden Anbauteils) eingelernt wird.

Unter „Bearbeitung“ sollen hierbei beliebige Bearbeitungs-, Montage- oder Messvorgänge verstanden werden, die an dem bewegten Objekt durchgeführt werden sollen. Insbesondere soll der Begriff „Bearbeitung“ beliebige Fügevorgänge am bewegten Objekt (Schweißoperationen im Rohbau, Aufbringen von Klebstoff in der Endmontage, ...), bandsynchrone Montagevorgänge (Einbau von Scheiben, Dachmodulen etc. in der Fahrzeugmontage etc.) sowie prozessbegleitende Qualitätssicherungsmaßnahmen (Mess- und Prüftechnik im Produktionstakt) umfassen.

Im Zuge des oben beschriebenen Regelvorgangs wird das Bearbeitungswerkzeug in der gewünschten Arbeitsposition gegenüber dem bewegten Werkstück ausgerichtet. Durch eine periodische Wiederholung dieses Regelvorgangs erfolgt eine periodische (Neu-)Ausrichtung des Bearbeitungswerkzeugs gegenüber dem Werkstück, so dass das Bearbeitungswerkzeug das bewegte Werkstück „verfolgt“. Während dieser bandsynchronen Verfolgung können von dem Bearbeitungswerkzeug diverse Bearbeitungs- und/oder Montageoperationen an dem bewegten Werkstück durchgeführt werden; zu jedem Zeitpunkt während dieser Bearbeitungs- bzw. Montageoperationen kann dabei eine lagegenaue Ausrichtung des Bearbeitungswerkzeugs gegenüber dem Werkstück gewährleistet werden.

Hierzu sind keinerlei (Absolut-) Informationen über die momentane Geschwindigkeit des Montagebandes, die Lage und Ausrichtung des bewegten Werkstücks im Arbeitsraum des Roboters etc. notwendig. Das erfindungsgemäße Verfahren beruht nämlich auf Relativmessungen des Sensorsystems, im Rahmen derer eine (in der Einrichphase hinterlegte) Information - entsprechend einem Satz von (Soll-) Messwerten des Sensorsystems - über den Regelvorgang wiederhergestellt wird.

Da zur Durchführung des Verfahrens keinerlei Absolutmessungen benötigt werden, brauchen auch die verwendeten Sensoren nicht kalibriert zu werden. Insbesondere kann auf eine interne metrische Kalibrierung der Sensoren verzichtet werden, da die zum Einsatz kommenden Sensoren nicht mehr „messen“, sondern lediglich auf eine monotone Inkrementalbewegung des Roboters mit einer monotonen Änderung ihres Sensorsignals reagieren. Dies bedeutet beispielsweise, dass bei Verwendung einer Fernseh- bzw. CCD-Kamera als Sensor die kamerainternen Linsenverzeichnungen nicht kompensiert werden müssen bzw. dass bei Verwendung eines Triangulationssensors die exakte metrische Berechnung von Abstandswerten entfällt. - Weiterhin ist keine externe metrische Kalibrierung der Sensoren notwendig. Das bedeutet, dass die Lage der Sensoren in bezug auf den Arbeitsraum des Roboters bzw. das Koordinatensystem der Roboterhand nicht ermittelt zu werden brauchen, um geeignete Korrekturbewegungen berechnen zu können. Die Sensoren müssen lediglich in einer solchen Weise am Bearbeitungswerkzeug befestigt werden, dass sie in ihrem Fangbereich überhaupt geeignete Messdaten der Referenzbereiche auf der Karosserie und/oder eines Anbauteils erfassen können.

Das Ergebnis der Bahnverfolgung des bewegten Werkstücks ist weiterhin unabhängig von der absoluten Positioniergenauigkeit des verwendeten Roboters und dem Wissen über den Bewegungsablauf des Transportbandes, da eventuelle Roboterungenauigkeiten bzw. Änderungen der Bandgeschwindigkeit beim periodischen

Anfahren bzw. Nachregeln der Arbeitsposition ausgeregelt werden. Aufgrund der daraus resultierenden kurzen Fehlerketten ist eine sehr hohe Wiederholgenauigkeit bei der Bahnverfolgung erzielbar.

Die Anzahl der Positionsfreiheitsgrade des Bearbeitungswerkzeugs gegenüber dem bewegten Werkstücks, die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kompensiert werden können, ist frei wählbar und hängt nur von der Konfiguration des Sensorsystems ab. Ebenso ist die Anzahl der verwendeten Sensoren frei wählbar. Die Anzahl der bereitgestellten (skalaren) Sensorinformationen muss lediglich gleich oder größer der Anzahl der zu regelnden Freiheitsgrade sein. Insbesondere kann eine größere Zahl von Sensoren vorgesehen werden, und die redundante Sensorinformation kann verwendet werden, um z.B. Formfehler des betrachteten Werkstückbereichs besser erfassen zu können oder den Positionierungsvorgang in seiner Genauigkeit zu verbessern. Schließlich kann Sensorinformation aus unterschiedlichen - vorzugsweise berührungsfreien - Quellen verwendet werden (z.B. eine Kombination von CCD-Kameras, optischen Spaltsensoren und Triangulationssensoren zur Abstandsmessung). Somit können durch Verwendung geeigneter Sensoren die Messergebnisse unterschiedlicher qualitätsrelevanter Größen (Spaltmaße zwischen dem Werkstück und einem in dem Bearbeitungswerkstück gehaltenen Anbauteil, Übergangsmaße, Tiefenmaße) berücksichtigt werden. Das erfindungsgemäße Verfahren kann sehr leicht auf neue Problemstellungen adaptiert werden, da lediglich die Sensordatengewinnung und -aufarbeitung, nicht aber der regelnde Systemkern adaptiert werden muss.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind den Unteransprüchen zu entnehmen. Im folgenden wird die Erfindung anhand eines in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert; dabei zeigen:

Fig. 1 Eine schematische Ansicht auf ein Bearbeitungssystem zur Bearbeitung einer auf einem Transportband

bewegten Fahrzeugkarosserie in unterschiedlichen Prozessphasen:

Fig. 1a Zuführung der Karosserie

Fig. 1b Bearbeitung der Karosserie (Einkleben eines Dachmoduls);

Fig. 2 schematische Schnittansichten des Bearbeitungssystems und der bewegten Karosserie der Figur 1 in unterschiedlichen Prozessphasen:

Fig. 2a: Arbeitsposition des Bearbeitungswerkzeugs gegenüber der bewegten Karosserie;

Fig. 2b: Näherungsposition des Bearbeitungswerkzeugs gegenüber der bewegten Karosserie;

Fig. 3 eine schematische Darstellung der Verfahrbahn des Bearbeitungswerkzeugs bei der Abarbeitung Montageschritte der Figuren 1 und 2.

Figur 1a zeigt eine Aufsicht auf ein Bearbeitungssystem 4, in dem Dachmodule 3 in Dachausschnitte 2 von Fahrzeugkarosserien 1 eingeklebt werden. Die Fahrzeugkarosserien 1 werden dem Bearbeitungssystem 4 auf einem Transportband 10 zugeführt und werden während der Dachmodulmontage kontinuierlich auf dem Transportband 10 durch den Arbeitsraum 6 des Bearbeitungssystems 4 befördert (Pfeilrichtung 11). Jedes Dachmodul 3 wird von einem Roboter 7 zugeführt und ist in seinem Randbereich mit einer Klebstoffraupe 29 versehen, durch die das Dachmodul 3 mit dem Dachausschnitt 2 der Karosserie 1 verbunden.

Um das Dachmodul 3 prozesssicher in die auf dem Transportband 10 bewegte Karosserie 1 montieren zu können, muss das Dachmodul 3 lagegenau (in bezug auf Position und Winkellage) gegenüber den dem Dachausschnitt 2 der bewegten Karosserie 1 ausgerichtet werden; insbesondere muss ein zwischen dem Dachmodul 3 und den benachbarten Dachbereichen 9 vorliegender Spalt 21 ein möglichst gleichförmiges Maß aufweisen (siehe Figur 2a). Die benachbarten Dachbereiche 9 bilden dabei einen sogenannten Referenzbereich zur Ausrichtung des Dachmoduls 3 gegenüber der Karosserie 1. Diese Relativausrichtung zwischen

Dachmodul 3 und Dachausschnitt 2 muss während der montagerelevanten Prozessschritte beibehalten werden, d.h. das Dachmodul 3 muss bis zum Angelieren des Klebstoffs in dieser Relativausrichtung zum Dachausschnitt 2 gehalten (bzw. auf den Dachausschnitt 2 gepresst) werden, um das gewünschte Spaltmaß zu erreichen.

Die Montage des Dachmoduls 3 in die Karosserie 1 erfolgt mit Hilfe eines von dem Industrieroboter 7 geführten Bearbeitungswerkzeugs 5, das das Dachmodul 3 an die bewegte Karosserie 1 bringt und lagegenau gegenüber dem Dachausschnitt 2 der Karosserie 1 positioniert. Zur Lage- und Bewegungssteuerung des Roboters 7 und des Bearbeitungswerkzeugs 5 ist ein Steuersystem 20 vorgesehen. Das Bearbeitungswerkzeug 5 ist an der Hand 12 des Industrieroboters 7 befestigt und umfasst einen Rahmen 13, an dem eine Fixiervorrichtung 14 befestigt ist, mit Hilfe derer das Dachmodul 3 in einer wohldefinierten Lage aufgenommen werden kann. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist die Fixiervorrichtung durch mehrere Unterdruck-Saugnäpfe gebildet, die an der Oberseite 22 des Dachmoduls 3 angreifen.

Zur Vermessung der Lage und Ausrichtung des im Bearbeitungswerkzeug 5 fixierten Dachmoduls 3 gegenüber der bewegten Karosserie 1 ist das Bearbeitungswerkzeug 5 mit einem Sensorsystem 18 mit mehreren Sensoren 19 versehen, die starr mit dem Rahmen 13 des Bearbeitungswerkzeugs 5 verbunden sind; sie bilden somit mit dem Bearbeitungswerkzeug 5 eine bauliche Einheit. Diese Sensoren 19 dienen zur Ermittlung von Fugen-, Spalt- und Tiefenmaßen zwischen den Referenzbereichen 9 des Dachausschnitts 2 und den benachbarten Referenzbereichen 17 des Dachmoduls 3. Mit Hilfe dieses Sensorsystems 18 wird - wie weiter unten beschrieben - das in dem Bearbeitungswerkzeug 5 gehaltene Dachmodul 3 in einem iterativen Regelvorgang gegenüber dem Dachausschnitt 2 der Karosserie 1 ausgerichtet und während des gesamten Montagevorgangs in dieser Ausrichtung gehalten.

Soll das Bearbeitungssystem 5 auf eine neue Bearbeitungsaufgabe - beispielsweise auf die Dachmodulmontage in einem neuen Fahrzeugtyp - eingestellt werden, so muss zunächst eine sogenannte Einrichphase durchlaufen werden, in der das Bearbeitungswerkzeug 5 konfiguriert wird. Dabei wird eine dem zu montierenden Dachmodul 3 angepasste Fixiervorrichtung 14, ein geeignet gestalteter Rahmen 13 und ein Sensorsystem 18 mit entsprechenden Sensoren 19 ausgewählt und zusammengebaut. Im Anschluss daran wird das Sensorsystem 18 des Bearbeitungswerkzeugs 5 „eingelernt“, indem - wie im folgenden unter I. beschrieben - (Soll-) Messwerte des Sensorsystems 18 auf einer stationär gehaltenen „Master“-Karosserie 1' und einem „Master“-Dachmodul 3' aufgenommen werden und die gesteuert zu durchlaufenden Bahnabschnitte einer Verfahrbahn 16 des Roboters 7 einprogrammiert werden. Nach Beendigung dieser Einrichphase steht das so konfigurierte und eingemessene Bearbeitungssystem 4 zum Serieneinsatz bereit, bei dem für jede einem Arbeitsraum 6 des Bearbeitungssystems 4 zugeführte Karosserie 1 eine sogenannte Arbeitsphase durchlaufen wird, bei der - wie im folgenden unter II. beschrieben - ein zugehöriges Dachmodul 3 im Dachausschnitt 2 der Karosserie 1 positioniert und befestigt wird.

I. Einrichphase des Bearbeitungswerkzeugs 5:

Zur Lösung einer neu gestellten Bearbeitungsaufgabe wird in einem ersten Schritt zunächst ein der Bearbeitungsaufgabe angepasstes Sensorsystem 18 für das Bearbeitungswerkzeug 5 ausgewählt und gemeinsam mit der Fixiervorrichtung 14 am Rahmen 13 befestigt. Das so zusammengebaute Bearbeitungswerkzeug 5 wird an der Roboterhand 12 befestigt. Die Fixiervorrichtung 14 wird dann mit einem („Master“-) Dachmodul 3' bestückt und (manuell bzw. interaktiv) in einer solchen Weise gegenüber einer stationär im Arbeitsraum 6 fixierten („Master“-) Karosserie 1' ausgerichtet, dass eine „optimale“ Ausrichtung des („Master“-) Dachmoduls 3' gegenüber der („Master“-) Karosse-

rie 1' gegeben ist; diese Relativlage des („Master“-) Dachmoduls 3' gegenüber der („Master“-) Karosserie 1' ist in Figur 2a dargestellt. Eine solche „optimale“ Ausrichtung kann beispielsweise dadurch definiert sein, dass der Spalt 21 zwischen dem („Master“-) Dachmodul 3' und der („Master“-) Karosserie 1' möglichst gleichförmig ist, oder dass der Spalt 21 in bestimmten Regionen bestimmte Werte einnimmt. Die dabei eingenommene Relativposition des Bearbeitungswerkzeugs 5 gegenüber der („Master“-) Karosserie 1' wird im folgenden als „Arbeitsposition“ 23 bezeichnet.

Die Zahl und die Lage der Sensoren 19 im Sensorsystem 18 ist so gewählt, dass die Sensoren 19 auf geeignete, für die „optimale“ Ausrichtung besonders wichtige, Bereiche 9,17 der („Master“-) Karosserie 1' bzw. des („Master“-) Dachmoduls 3' gerichtet sind. Im Ausführungsbeispiel der Figur 2a sind symbolisch zwei optische flächenhaft messende Sensoren 19 gezeigt, die beide auf die einander benachbarten Ränder 33,34 der („Master“-) Karosserie 1' und des („Master“-) Dachmoduls 3' gerichtet sind. Aus von den Sensoren aufgenommenen Bildern werden in der Auswerteeinheit 26 die Verläufe der Ränder 33,34 im Bildfeld der Sensoren 19 und die Maße des Spalts 21 berechnet. Neben diesen Spaltmessungssensoren können weitere Sensoren vorgesehen sein, die beispielsweise einen (Tiefen-) Abstand zwischen („Master“-) Karosserie 1' und („Master“-) Dachmodul messen.

Das Bearbeitungswerkzeug 5 mit dem Sensorsystem 18 und mit dem in der Fixiervorrichtung 14 gehaltenen („Master“-) Dachmodul 3' wird nun mit Hilfe des Roboters 7 auf die (durch das manuell bzw. interaktiv Ausrichten eingestellte, in der Darstellung der Figur 2a eingenommene) Arbeitsposition 23 gegenüber der („Master“-) Karosserie 1' „eingelernt“. Hierbei werden zunächst Messwerte aller Sensoren 19 in der Arbeitsposition 23 aufgenommen und als „Soll-Messwerte“ in einer Auswerteeinheit 26 des Sensorsystems 18 abgelegt; diese Sensor-Auswerteeinheit 26 ist zweckmäßigerweise in das Steuersystem

20 des Roboters 7 integriert. Anschließend wird - ausgehend von der Arbeitsposition 23 - mit Hilfe des Roboters 7 die Lage des Bearbeitungswerkzeugs 5 und des darin gehaltenen („Master“-) Dachmoduls 3' gegenüber der („Master“-) Karosserie 1' entlang bekannter Verfahrbahnen - wie in Figur 2a durch Pfeile 25 angedeutet - systematisch verändert; in der Regel sind dies Inkrementalbewegungen des Roboters 7 in seinen Freiheitsgraden. Die dabei auftretenden Veränderungen der Messwerte der Sensoren 19 werden (vollständig oder in Teilen) aufgezeichnet. Aus diesen Sensorinformationen wird - in bekannter Weise - eine sogenannte Jacobimatrix (Sensitivitätsmatrix) errechnet, die den Zusammenhang zwischen den Inkrementalbewegungen des Roboters 7 und den dabei auftretenden Änderungen der Sensormesswerte beschreibt. Das Verfahren zur Ermittlung der Jacobimatrix ist beispielsweise beschrieben in „A tutorial on visual servo control“ von S. Hutchinson, G. Hager und P. Corke, IEEE Transactions on Robotics and Automation 12(5), Oktober 1996, Seiten 651–670. In diesem Artikel sind auch die Anforderungen an die Verfahrwege bzw. die Messumgebungen beschrieben (Stetigkeit, Monotonie, ...), die erfüllt sein müssen, um eine gültige Jacobimatrix zu erhalten. - Die Inkrementalbewegungen sind in einer solchen Weise ausgewählt, dass während dieses Einrichtvorgangs keine Kollisionen des Bearbeitungswerkzeugs 5 bzw. des („Master“-) Dachmoduls 3' mit der („Master“-) Karosserie 1' auftreten können.

Die in der Einrichtphase erzeugte Jacobimatrix wird zusammen mit den „Soll-Messwerten“ in der Auswerteeinheit 26 des Sensorsystems 18 abgelegt; diese Daten bilden die Grundlage für den späteren geregelt zu durchlaufenden Positionierungsvorgang des Bearbeitungswerkzeugs 5 gegenüber der bewegten Karosserie 1 und die hochgenaue geregelte Bewegungsverfolgung der Karosserie 1 durch das Bearbeitungswerkzeug 5 in der Arbeitsphase (siehe unten unter II.).

Weiterhin wird in der Einrichtphase eine Verfahrbahn 16 der Roboterhand 12 (und somit des Bearbeitungswerkzeugs 5) gene-

riert, die in der späteren Arbeitsphase II. gesteuert durchlaufen wird. Diese Verfahrbahn 16 ist schematisch in Figur 3 dargestellt. Den Ausgangspunkt der Verfahrbahn 16 bildet eine sogenannte „Rückzugsposition“ 30, die so gewählt ist, dass keine Kollisionen des Bearbeitungswerkzeugs 5 oder des darin gehaltenen Dachmoduls 3 mit den auf dem Transportband 10 bewegten Karosserien 1 zu befürchten sind. Diese Rückzugsposition 30 kann beispielsweise einer (in den Figuren nicht dargestellten) Bestückungsstation entsprechen, in der das Dachmodul 3 durch das Montagewerkzeug 5 aufgenommen wird und in der mit Hilfe eines (in den Figuren 1a und 1b nicht gezeigten) Kleberoboters Klebstoffraupen 29 auf ausgewählte Bereiche 28 der Dachmodul-Unterseite aufgetragen werden und.

Ausgehend von dieser Rückzugsposition 30 umfasst die Verfahrbahn 16 folgende separate Abschnitte:

- A-1 Das Bearbeitungswerkzeug 5 mit eingelegtem Dachmodul 3 wird auf einer gesteuert zu durchlaufenden Bahn A-1 von der Rückzugsposition 30 in eine fest vorgegebene, sogenannte „Näherungsposition“ 27 gebracht, die so gewählt ist, dass alle Einzelsensoren 19 des Sensorsystems 18 gültige Messwerte des jeweiligen Bereiches 9,17 des Dachmoduls 3 und/oder der Karosserie 1 erfassen können, während gleichzeitig gewährleistet ist, dass keine Kollisionen des Bearbeitungswerkzeugs 5 oder des Dachmoduls 3 mit der Karosserie 1 auftreten können (siehe Figur 2b).
- A-2 Das Bearbeitungswerkzeug 5 mit eingelegtem Dachmodul 3 wird auf einer in der späteren Arbeitsphase geregelt zu durchlaufenden Bahn A-2 von der Näherungsposition 27 in die (wie oben beschrieben „eingelernte“) Arbeitsposition 23 gebracht, in der das im Bearbeitungswerkzeug 5 gehaltene Dachmodul 3 lage- und winkelgenau gegenüber dem Dachausschnitt 2 der Karosserie 1 ausgerichtet ist. Was während dieses geregelt zu durchlaufenden Prozess-

schritts im einzelnen geschieht, wird weiter unten (in II. Arbeitsphase) beschrieben.

B Nun erfolgt der eigentliche Bearbeitungsvorgang, bei dem das im Bearbeitungswerkzeug 5 gehaltene Dachmodul 3 mit einem vorgegebenen Druck in den Dachausschnitt 2 hineingepresst wird und so lange in diese Position gehalten wird, bis der Klebstoff 29 angeliert bzw. ausgehärtet ist; währenddessen wird vom Roboter 7 periodisch ein Regelvorgang durchlaufen, durch den das Bearbeitungswerkzeug 5 in der (als Ergebnis des Regelvorgangs A-2 aufgefundenen) Relativposition zur bewegten Karosserie 1 ausgerichtet bleibt.

C Ist der Montageprozess beendet, so setzt das Steuersystem 20 des Roboters 7 ein Signal ab, durch das die ausgerichtete Verfolgung der bewegten Karosserie 1 durch das Bearbeitungswerkzeug 5 beendet wird. Das Bearbeitungswerkzeug 5 wird dann robotergesteuert in die Rückzugsposition 30 zurückbewegt.

Die im Rahmen der Einrichtphase erzeugte Verfahrbahn 16 des Bearbeitungswerkzeugs 5 besteht somit aus zwei gesteuert zu durchlaufenden Abschnitten A-1 und C sowie zwei geregt zu durchlaufenden Abschnitt A-2 und B. Die Schritte A-1 und C können während der Einlernphase des Bearbeitungswerkzeugs 5 interaktiv eingegeben werden, oder sie können in Form eines (off-line generierten) Programms im Steuersystem 20 des Roboters 7 abgelegt werden.

II. Arbeitsphase

In der Arbeitsphase werden auf dem Transportband 10 sequentiell Karosserien 1 durch den Arbeitsraum 6 des Bearbeitungssystems 4 hindurchgeführt; in jede dieser bewegten Karosserien 1 wird mit Hilfe des Bearbeitungssystems 4 - unter Verwendung der in der Einrichtphase I. eingelernten Verfahrbahn 16 - ein mit einer Klebstoffraupe 29 versehenes Dachmodul 3

lagegenau gegenüber dem Dachausschnitt 2 positioniert und in dieser Relativausrichtung in die bewegte Karosserie 1 eingebaut.

Verfahrbahn-Abschnitt A-1 (Näherungsphase) :

Während des Zuführens der neuen Karosserie 1 befindet sich das Bearbeitungswerkzeug 5 in der Rückzugsposition 30 und nimmt dort ein mit Klebstoff 29 versehenes, zu montierendes Dachmodul 3 auf (siehe Figur 1a). Sobald die neue Karosserie 1 in den Arbeitsraum 6 hineinbewegt worden ist (und dabei beispielsweise eine Lichtschranke durchfahren hat), empfängt das Steuersystem 20 des Roboters 7 ein Signal, durch das der Verfahrbahn-Abschnitt A-1 angestoßen wird. Das Bearbeitungswerkzeug 5 mit eingelegtem Dachmodul 3 wird dabei gesteuert in die (raumfeste) Näherungsposition 27 der Figur 2b bewegt, die - wie oben erwähnt - so gewählt wurde, dass sich der Dachausschnitt 2 (bzw. die Referenzbereiche 9) der bewegten Karosserie 1 - unabhängig von der genauen Lage der Karosserie auf dem Transportband 10 - im Fangbereich der Sensoren 19 des Bearbeitungswerkzeugs 5 befinden.

Verfahrbahn-Abschnitt A-2 (Positionierphase des Bearbeitungswerkzeugs 5) :

Ausgehend von dieser Näherungsposition 27 wird eine Positionierphase (Bahnabschnitt A-2 in Figur 3) des Bearbeitungswerkzeugs 5 durchlaufen, im Rahmen derer das im Bearbeitungswerkzeug 5 gehaltene Dachmodul 3 in die (während der Einlernphase I. eingelernte) Arbeitsposition 23 gegenüber der bewegten Karosserie 1 gebracht und dabei lagegenau gegenüber dem Dachausschnitt 2 ausgerichtet wird. Hierzu werden durch die Sensoren 19 des Sensorsystems 18 Messwerte in ausgewählten Bereichen 9,17 des Dachmoduls 3 und der Karosserie 1 aufgenommen. Mit Hilfe dieser Messwerte und der in der Einricht-

phase bestimmten Jacobimatrix wird ein Bewegungssinkrement (Verschiebungsvektor) berechnet, das die Differenz zwischen den aktuellen (Ist-) Sensormesswerten und den (Soll-) Sensor- messwerten verkleinert. Das im Bearbeitungswerkzeug 5 gehal- tene Dachmodul 3 wird dann mit Hilfe des Roboters 7 um dieses Bewegungssinkrement verschoben und/oder geschwenkt, und wäh- rend der laufenden Bewegung werden neue (Ist-) Sensormesswer- te aufgenommen.

Dieser iterative Mess- und Verschiebe-Vorgang wird in einer Regelschleife so lange wiederholt, bis die Differenz zwischen den aktuellen (Ist-) und den angestrebten (Soll-) Sensormess- werten ein vorgegebenes Fehlermaß unterschreitet, oder bis sich diese Differenz nicht mehr über einen im Vorfeld festge- setzten Schwellenwert hinaus ändert. Das Dachmodul 3 befindet sich nun (im Rahmen der durch Fehlermaß bzw. Schwellenwert vorgegebenen Genauigkeit) in der (in Figur 2a dargestellten) Arbeitsposition 23 gegenüber der Karosserie 1.

Durch die in dieser Positionierphase A-2 durchlaufene itera- tive Minimierung werden sowohl Ungenauigkeiten der Karosserie 1 bezüglich ihrer Lage und Ausrichtung auf dem Transportband 10 als auch eventuell vorhandene Formfehler des Dachaus- schnitts 2 der Karosserie 1 (d.h. Abweichungen von der („Mas- ter“) Karosserie 1') kompensiert. Simultan werden Ungenauig- keiten des Dachmoduls 3 bezüglich seiner Lage und Ausrichtung im Bearbeitungswerkzeug 5 und eventuell vorhandene Formfehler des Dachmoduls 3 kompensiert (d.h. Abweichungen vom („Mas- ter“) Dachmodul 3'). Durch eine periodische Wiederholung der Messewertaufnahme und des Regelvorgangs wird weiterhin er- reicht, dass die Bewegung der Karosserie 1 im Arbeitsraum 6 des Bearbeitungssystems 4 kompensiert wird, so dass das robo- tergeführte Bearbeitungswerkzeug 5 der Karosserie 1 „folgt“. Ein solches prozesssicheres „Verfolgen“ der Karosserie 1 durch das Bearbeitungswerkzeug 5 setzt lediglich voraus, dass Änderungen in der Relativlage zwischen Karosserie 1 und Robo- ter 8 langsamer erfolgen als die Messung und Positionsrege-

lung des Verbunds aus Sensorsystem 18 und Bearbeitungswerkzeug 5 (bzw. Roboterhand 12).

Das Dachmodul 3 wird im Zuge dieses iterativen Regelprozesses A-2 - unabhängig von der Bewegung der Karosserie 1 - in der „optimalen“ Weise in den Dachausschnitt 2 der Karosserie 1 eingepasst. Zur separaten Erkennung und Bewertung von Formfehlern des Dachmoduls 3 und der Karosserie 1 können auf dem Bearbeitungswerkzeug 5 zusätzliche (d.h. für die eigentliche Positionieraufgabe nicht benötigte) Sensoren vorgesehen werden, deren Messwerte ausschließlich oder teilweise zur Erfassung der Formfehler verwendet werden. Weiterhin können die Messwerte der Einzelsensoren 19 mit unterschiedlichen Gewichtungsfaktoren versehen werden, um eine gewichtete Lageoptimierung des Dachmoduls 3 gegenüber dem Dachauschnitt 2 der Karosserie 1 herbeizuführen.

Eine wichtige Eigenschaft der Positionierphase A-2 ist ihre Unabhängigkeit von der Robotergenauigkeit: Da der Positionierungsvorgang auf einem iterativen Vergleich der (Ist-) Messwerte mit (Soll-) Messwerten beruht, wird jede Positionsunge nauigkeit des Roboters 7 sofort durch den iterativen Regelprozess kompensiert.

Arbeitsgang B (Befestigung des Dachmoduls 3 an der Karosserie 1)

In dem nun folgenden Arbeitsschritt B wird das Dachmodul 3 mit der Karosserie 1 verbunden. Dabei folgt das Bearbeitungswerkzeug 5 geregelt der bewegten Karosserie 1, indem die Sensoren 19 - in Fortführung des Prozessschritts A-2 - in einer iterativen Regelschleife periodisch Messwerte der Bereiche 9 auf der Karosserie 1 aufnehmen und mit den in der Auswerteinheit 26 abgelegten Soll-Daten vergleichen; treten Differenzen zwischen der Soll- und den Ist-Werten auf - was bei einer bewegten Karosserie 1 zu erwarten ist - so wird die La-

ge der Roboterhand 12 analog zu dem in A-2 beschriebenen Regelvorgang korrigiert, um diese Differenzen so gering wie möglich zu halten.

Parallel zu dieser geregelten Verfolgungsbewegung des Montagesystems 5 durch das Sensorsystem 18 wird nun das Dachmodul 3 mit Hilfe der Fixiervorrichtung 14 in der gewünschten (der Arbeitsposition 23 entsprechenden) Relativlage zum Dachausschnitt 2 gehalten bzw. mit einer vorgegebenen (oder geregelten) Kraft an den Dachausschnitt 2 gedrückt. Ist die Gelierz- bzw. Härtezeit des Klebers 29 verstrichen, so wird das Dachmodul 3 von der Fixiervorrichtung 14 freigegeben.

In Abhängigkeit von der Dauer des in diesem Arbeitsgang B zu bewältigenden Bearbeitungsumfangs und von der Vorschubgeschwindigkeit des Transportbandes 10 kann es zweckmäßig sein, den Roboter 7 nicht stationär zu halten, sondern auf einer parallel zur Transportrichtung 11 des Bandes 10 verlaufenden Schiene 15 zu bewegen. Die Bahnbewegung des Roboters 7 auf der Schiene 15 ist dabei eine gesteuerte Bewegung und ist somit nicht an den Vorschub des Transportbandes 10 gekoppelt. Unabhängig davon, ob der Roboter 7 mit dem Transportband 10 mitbewegt wird oder nicht, erfolgt die prozessbegleitende Ausrichtung des Dachmoduls 3 an der bewegten Karosserie 1 daher ausschließlich durch den oben beschriebenen iterativen Regelungsprozess, d.h. basierend auf der On-Line-Messdatengewinnung und -auswertung durch das Sensorsystem 18. Daher ist weder eine mechanische Kopplung des Bearbeitungswerkzeugs 5 an das Transportband 10 notwendig, noch braucht das Steuersystem 20 des Roboters 7 in irgendeiner (elektrischen/elektronischen) Weise mit der Steuerung des Transportbands vernetzt werden.

Vorzugsweise wird während der Verfolgungsphase B periodisch in vorgegebenen (möglichst kurzen) Zeitabständen eine Positionsregelschleife durchlaufen, um das Werkzeug 5 permanent gegenüber dem Dachausschnitt 2 ausgerichtet zu halten. Falls

dies nicht möglich ist (weil beispielsweise das Werkzeug 5 kurzzeitig aus dem Dachbereich herausgeführt werden muss, um diesen Bereich für weitere Werkzeuge zugänglich zu machen), kann von der Roboterhand 12 eine kurze „Blindfahrt“ durchgeführt werden, bei der der geschätzte Vorschub der Karosserie 1 geschätzt wird.

Verfahrbahn-Abschnitt C (Rückzug des Bearbeitungswerkzeugs 5) :

Nach Beendigung der Montage des Dachmoduls 3 (siehe Figur 1b) wird die unter B beschriebene geregelte Verfolgungsbewegung, durch die das Bearbeitungswerkzeug 5 an die Transportbewegung der Karosserie 1 angekoppelt ist, abgebrochen. Das Bearbeitungswerkzeug 5 wird entlang der Verfahrbahn C robotergesteuert in die Rückzugsposition 30 zurückbewegt und dort mit einem neuen Dachmodul 3 bestückt.

Bei der Aufnahme eines neuen Dachmoduls 3 durch das Bearbeitungswerkzeug 5 kann das Sensorsystem 18 verwendet werden, um eine hochgenaue Ausrichtung des Dachmoduls 3 im Bearbeitungswerkzeug 5 sicherzustellen. In diesem Fall wird das Bearbeitungssystem 5 - im Zuge einer Einrichtphase, die analog zu der oben unter I. beschriebenen Einrichtphase verläuft - auf eine „Aufnahmeposition“ eingelernt, die einer vorgegebenen Lage/Ausrichtung des Bearbeitungswerkzeugs 5 (und somit der Sensoren 19 des Sensorsystems 18) gegenüber dem Dachmodul 3 entspricht. Das Dachmodul 3 wird dem Bearbeitungssystem 4 dabei beispielsweise in einem (in den Figuren nicht dargestellten) Werkstückträger zugeführt. Ein automatisierbares Verfahren zur lagegenauen Entnahme eines Dachmoduls aus einem Werkstückträger ist in der (**PCT-Patentanmeldung, unsere Akte P803860**) beschrieben.

Die hochgenaue Ausrichtung des Dachmoduls 3 im Bearbeitungswerkzeug 5 empfiehlt sich insbesondere dann, wenn das Dachmo-

dul 3 in der Bestückungsstation - d.h. vor dem oben beschriebenen Einfügen in die bewegte Karosserie 1 - mit Hilfe des Bearbeitungswerkzeugs 5 auf einer gesteuerten Bahn an einem Klebewerkzeug (z.B. einem Kleberoboter) entlanggeführt wird, das die Klebstoffraupe 29 auf die gewünschten Bereiche 28 des Dachmoduls 3 aufträgt. Für ein prozesssicheres Verkleben des Dachmoduls 3 im Dachausschnitt 2 ist es unerlässlich, eine positionsgenaue Lage der Klebstoffraupe 29 auf dem Dachmodul 3 sicherzustellen; dies wiederum kann nur dann mit vertretbarem Aufwand erreicht werden, wenn das Dachmodul 3 während des Klebstoffauftrags hochgenau gegenüber dem Klebewerkzeug ausgerichtet ist, was durch eine hochgenaue Positionierung des Dachmoduls 3 im Montagewerkzeug 5 gewährleistet werden kann. - In diesem Fall muss im Zuge der Arbeitsphase II. während der Positionierungsphase A-2 (und der Verfolgungsphase B) das Bearbeitungswerkzeug 5 lediglich gegenüber den Referenzbereichen 9 der Karosserie 1 ausgerichtet werden; die Lage der Referenzbereiche 17 des Dachmoduls 3 ist aufgrund der lagegenauen Halterung des Dachmoduls 3 im Werkzeug 5 bekannt, so dass diese Merkmale während der Arbeitsphase II. nicht mehr erfasst zu werden brauchen.

Alternativ kann das Dachmodul 3 „ungenau“ in bezug auf seine Lage/Ausrichtung (d.h. ohne hochgenaue Ausrichtung des Werkzeugs 5 gegenüber dem Dachmodul 3) in dem Bearbeitungswerkzeug 5 aufgenommen werden. Dies empfiehlt sich beispielsweise in den Fällen, in denen das Dachmodul 3 zum Zeitpunkt seiner Aufnahme durch das Bearbeitungswerkzeug 5 bereits mit einer Klebstoffraupe 29 versehen ist. In diesem Fall werden im Zuge der Arbeitsphase II. während der Positionierungsphase A-2 (und der Verfolgungsphase B) sowohl vom Dachmodul 3 als auch von der Karosserie 1 Messdaten erfasst, so dass die Relativposition vermittelt wird. Aufgrund dieser Relativpositionierung während der Arbeitsphase II. hat die „ungenaue“ Lagerung des Dachmoduls 3 im Werkzeug 5 keinerlei Einfluss auf die Positioniergenauigkeit des Dachmoduls 3 im Dachausschnitt 2.

Zur Datenkommunikation zwischen den unterschiedlichen Systemkomponenten (Auswerteeinheit 26 des Sensorsystems 18 und der Steuereinheit 20 des Roboters 7) wird in den vorliegenden Ausführungsbeispielen vorteilhafterweise eine TCP/IP-Schnittstelle eingesetzt, die eine hohe Datenrate ermöglicht. Eine solche hohe Datenrate ist notwendig, um während der ge- regelt zu durchlaufenden Positionier- und Verfolgungsphasen A-2 und B eine Regelung des Gesamtsystems (Sensorsystem/Roboter) mit der Vielzahl der Einzelsensoren 19 im Interpolati- onstakt des Roboters 7 bewältigen zu können.

Das Verfahren ist - neben der Dachmodulmontage in Fahrzeugkarosserien - auf beliebige andere Bearbeitungsumfänge übertragbar, bei denen mit Hilfe eines robotergeführten Bearbeitungswerkzeugs 5 ein Werkstück 1 hochgenau bearbeitet werden soll. Insbesondere eignet sich das Verfahren zur Montage von Frontscheiben in bewegten Fahrzeugkarosserien. Unter „robotergeführten“ Bearbeitungswerkzeugen sind im Zusammenhang der vorliegenden Anmeldung ganz allgemein Werkzeuge zu verstehen, die auf einem mehrachsigen Manipulator, insbesondere einem sechsachsigen Industrieroboter 7 montiert sind.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bearbeitung eines bewegten Werkstücks (1), insbesondere einer mittels eines Transportbandes (10) bewegten Fahrzeugkarosserie (1),
 - bei welchem Verfahren zum Bearbeiten des Werkstücks (1) ein Bearbeitungssystem (4) mit einem Bearbeitungswerkzeug (5) verwendet wird, welches an der Hand (12) eines Roboters (7) befestigt ist und welches ein fest mit dem Bearbeitungswerkzeug (5) verbundenes Sensorsystem (18) mit mindestens einem Sensor (19) umfasst, mit den folgenden Verfahrensschritten:
 - die Roboterhand (12) mit dem Bearbeitungswerkzeug (5) wird im Rahmen einer Positionierphase (A-2) in eine Arbeitsposition (23) bewegt wird, in das Bearbeitungswerkzeug (5) lagegenau gegenüber einem Referenzbereich (9) des auf dem Transportband (10) bewegten Werkstücks (1) ausgerichtet ist,
 - und wobei das Bearbeitungswerkzeug (5) anschließend eine Bearbeitungsphase (B) durchläuft, während derer das Bearbeitungswerkzeug (5) gegenüber dem Referenzbereich (9) auf dem Werkstück (1) ausgerichtet bleibt, wobei während der Positionierphase (A-2) und der Bearbeitungsphase (B) ein iterativer Regelvorgang durchlaufen wird, im Zuge dessen
 - von dem mindestens einen Sensors (19) ein (Ist-) Messwert des Referenzbereiches (9) des Werkstücks (1) erzeugt wird,
 - dieser (Ist-) Messwert mit einem im Rahmen einer Einstellphase (II.) erzeugten (Soll-) Messwert verglichen wird,

- aus der Differenz zwischen (Ist-) Messwert und (Soll-) Messwert unter Verwendung einer im Rahmen der Einrichtungsphase berechneten Jacobi-Matrix ein Verschiebungsvektor der Roboterhand (12) berechnet wird,
- das Bearbeitungswerkzeug (5) um diesen Verschiebungsvektor verschoben wird.

2. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Kommunikation zwischen einem Steuersystem (20) des Roboters (7) und der Auswerteeinheit (26) des Sensorsystems (18) eine TCP/IP-Schnittstelle verwendet wird.
3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Positionierung des Bearbeitungswerkzeugs (5) gegenüber unterschiedlichen Karosserietypen oder gegenüber unterschiedlichen Referenzbereichen (9) desselben Karosserietyps die Messwerte unterschiedlicher Einzelsensoren (14,14") des Sensorsystems (13) zur Positionsregelung verwendet werden.
4. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren zur Montage eines Dachmoduls (3) in einem Dachausschnitt (2) einer Fahrzeugkarosserie (1) verwendet wird.
5. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren zur Montage einer Windschutzscheibe (3') in einem vorderen Fensterausschnitt (2') einer Fahrzeugkarosserie (1) verwendet wird.
6. Bearbeitungssystem (4) zur Bearbeitung eines bewegten Werkstücks (1), insbesondere einer mittels eines Transportbandes (10) bewegten Fahrzeugkarosserie (1),

- mit einem an einer Hand (12) eines Roboters (7) befestigten Bearbeitungswerkzeug (5) und
- mit einem Steuersystem (20) zur Steuerung des Roboters (7) und des Bearbeitungswerkzeugs (5),
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
- dass das Bearbeitungssystem (4) ein Sensorsystem (18) mit mindestens einem Sensor (19) umfasst, welches fest mit dem Bearbeitungswerkzeug (5) verbunden ist,
- dass das Bearbeitungssystem (4) weiterhin eine Auswerteeinheit (26) zur Auswertung der Messwerte des Sensorsystems (18) umfasst,
- dass der mindestens eine Sensor (19) während einer Positionier- und Bearbeitungsphase (A-2,B) des Bearbeitungssystems (5) auf einen Referenzbereich (9) des bewegten Werkstücks (1) gerichtet ist,
- und dass unter Verwendung der Messwerte des Sensorsystems (18) das Bearbeitungswerkzeug (5) berührungsfrei an die Bahnbewegung des bewegten Werkstücks (1) ankopplbar ist.

7. Bearbeitungssystem nach Anspruch 7,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der mindestens eine Sensor (19) ein unkalibrierter Sensor ist.

8. Bearbeitungssystem nach Anspruch 7 oder 8,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß der mindestens eine Sensor (19) ein flächenhaft mesender optischer Sensor ist.